

액상 매질의 전기전도도 변화에 의한 전해이온수 발생 특성

Characteristics of Electrolytic Ion Water Generation due to the electrical-conductivity of a liquid medium

신동화^{1*}, 주재현²

Dong-Hwa Shin^{1*}, Jae-Hyun Ju²

〈Abstract〉

The following thesis researched into the characteristics of electrolytic ion water with different levels of electrical conductivity by adding NaCl into tap water which is for experimental use in multi-layered electrolytic ion water generator. Electrolytic ion water is generated by underwater electrolysis and the electrolysis generator has a simple structure, is easy to control and is highly utilized in industries. Electrolytic ion water is useful in many areas since it has a superior sterilizing power, has no possibility of secondary pollution itself as water and removes active oxygen. In the experiment, we used tap water with NaCl excluded and water with three different levels of electrical conductivity by changing NaCl concentration levels into three levels. The features of current and voltage in electrolytic ion water represented a form of quadric instead of the linear characteristic following ohm's law. As well, as the electric conductivity of water and applied voltage increased, we were able to generate much stronger acid water and alkali water.

Keywords : Acid water, Alkali water, Electrolytic ion water, Electrolysis, Electrical Conductivity

1* 정회원, 주저자, 영남이공대학교 전기자동화과 교수
E-mail: sdh@ync.ac.kr

2 정회원, 거제대학교 전기공학과 교수, 工博
E-mail: jhju@koje.ac.kr

1* Author, Prof., School of Dept. of Electrical Automatic
Engineering, Yeungnam University College

2 Prof., Dept. of Electricity Engineering, Koje College

1. 서론

물을 전기분해하면 부극성 전극에서는 칼슘, 칼륨 등의 양이온의 성질을 가진 알칼리 이온수가 발생하고, 정극성 전극에서는 염소, 인 등의 음이온의 성질을 가진 산성이온수가 생성된다[1].

일반적으로 산성수는 pH 7 이하의 산소가 적은 물을 의미하며, 높은 산화환원력, 잔류 염소 등에 의한 세정력과 세균 및 바이러스에 대한 강한 살균력을 가진 것으로 알려져 있다[2]. 또한 산성수는 물에 2차 오염을 일으키지 않으므로, 의료용[3] 및 산업용 유해생물 살균처리[4] 및 공업용수의 폐수를 줄이는 방법에 대해서도 연구가 진행되고 있다[5, 6].

알칼리수는 pH 7 이상의 산소가 풍부한 물로서 물의 분자 클러스터가 일반적인 물의 경우보다 작은 성질을 가지므로 음용시 흡수가 용이하고 부드러운 식감을 느끼게 할 뿐만 아니라 활성 산소 제거 작용[7] 및 음용수 등으로 매우 다양하고 광범위하게 연구를 수행 하고 있다.

중성인 물에 소량의 소금(NaCl) 또는 염산을 첨가하여 전기분해를 하면 정극성 전극에서 전해 살균수가 발생된다. 이에 대한 화학식은 표 1과 같다.

Table 1. Ion generation on the both electrodes

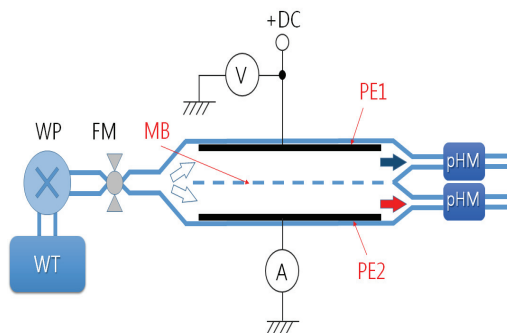
| |
|--|
| 정극성 전극에서의 이온 발생 |
| $2Cl^{-} \rightarrow Cl_2 + 2e$ |
| $Cl_2 + H_2O \rightleftharpoons HCl + HClO$ |
| $H_2O \rightarrow \frac{1}{2}O_2(g) + 2H^{+} + 2e$ |
| 부극성 전극에서의 이온 발생 |
| $2H_2O + 2e \rightarrow H_2(g) + 2OH^{-}$ |
| $Na^{+} + e \rightarrow Na$ |
| $Na + H_2O \rightarrow NaOH + \frac{1}{2}H_2$ |

현재, 전해이온수를 이용한 살균 및 세정 효과에 관한 일반적인 연구는 많이 수행되고 있으나, 전해이온수의 효과적인 발생에 대한 연구는 아직 부족한 실정이다. 본 연구에서는 전해이온수의 효과적인 발생에 대한 연구로서 기준 수도수에 첨가 물에 의한 전기전도도 변화에 대한 전해이온수의 pH 변동에 대한 컨덕턴스의 변화와 첨가물의 양에 대한 계수를 결정하는 실험을 독창적으로 수행, 분석하였다.

2. 본론

2.1 실험장치 및 방법

그림 1은 실험장치 개략도를 나타낸 것으로, 전해이온수 발생전극, 직류공급장치, 전류 및 전압 측정 장치 및 pH 측정 장치로 구성하였다. 실험시 직류전압을 양전극 인가하였고, 인가된 전압(V_A)과 전류(I_D)는 디지털멀티미터(DVM, Fluke, 179)로 측정하였다. 물을 공급하는 전기펌프(WP,



FM: Flowmeter WP: Waterpump WT: Watertank
 V: Voltmeter A : Ammeter pHM: pHmeter
 PE: Plane Electrode MB: Membrane

Fig. 1 Schematics of the experimental setup

water pump), 입/출구 유량계(FM, flowmeter)를 이용하여 공급 수량을 일정하게 유지하였고, pH 측정기(PHM, potential of Hydrogen meter, TOA - DK, HM-30R)를 이용하여 출수구에서 산성수와 알칼리수의 pH를 측정하였다.

본 실험에 사용된 전해이온수 발생용 전극은 다층구조로 가지며, 스테인리스스틸 재질의 평판형 전극(SUS304, 74[mm]×114[mm]×0.4[mm]) 4개와 이온교환막(74[mm]×114[mm]) 3개로 구성되어 있다.

전극은 아크릴로 제작된 챔버에 삽입된 상태이며, 두 대향전극 PE1, PE2의 간격은 5[mm]로 고정하였다. 이온교환막은 두 전극 사이의 정 중앙에 위치하며, 물의 압력에 의하여 위치가 변하지 않도록 고정되었다.

실험에 사용된 실험수는 수도수로서 전기전도도 G_w 는 265[μ S]이다. 이를 기준으로 NaCl을 0.001, 0.002, 0.003[mol]을 첨가하여 전기전도도를 변화시킨 수도수를 이용하여 전해이온수 생성 실험을 수행하였다. NaCl을 첨가하였을 때의 전압인가 전 초기 G_w 는 각각 368, 493, 627[μ S]이다. 전해이온수 발생용 전극, 전기펌프 등의 모든 실험 기구들은 각 실험 후 최소 3회 이상의 세척 과정을 거친 후 다음 실험에 사용되었다. 모든 실험수의 온도는 25°C인 상태로 실험이 시행되었다.

출수구 A에서는 산성수, B에서는 알칼리수가 토출되도록 하였다. 각 전해이온수의 pH는 전압인가 후 그 영향이 충분히 나타나도록 2 분 경과 후의 pH 농도 값을 측정하였다. 입수구의 유량은 1.0[LPM]이고, 출구측 2곳의 유량은 각각 0.5[LPM]으로 설정되었다.

인가 직류 전압은 정극성에서는 최초 4[V]에서 4[V]씩 승압하여 최고 40[V]까지 10 단계로 실험하였다.

2.2 실험결과 및 고찰

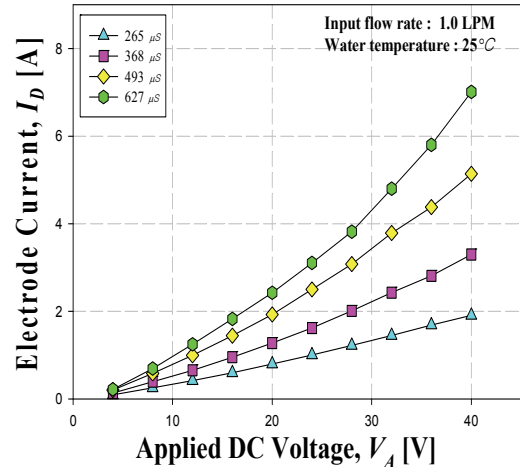


Fig. 2 I_D - V_A Characteristics

그림 2는 전기전도도 변화에 따른 I_D - V_A 특성을 나타낸 것이다. 표1은 4 가지의 전압(4, 16, 28, 40[V])에 대한 전기전도도 변화에 의한 전압, 전류 및 전력을 보여준다. 표 1에서 나타난 것처럼 전해이온수 생성용 전극간의 전류는 전기전도도의 증가와 인가전압이 증가할수록 증가하며, 전기전도도가 증가할수록 비선형성이 더 크게 나타나는 특성을 가진다.

표 1에서 실험의 기준 수도수와 실험수 중 가장 높은 초기 $G_w=627[\mu$ S]의 경우의 전류를 비교하였을 때, 4[V]에서는 2.365[배], 16[V]에서는 3.061[배], 28[V]에서는 3.126[배], 40[V]에서는 3.670[배]의 전류가 측정되었다.

전해이온수 생성 실험에서의 I_D 는 다음 식 (1)로 나타낼 수 있으며, 전류의 비선형성은 이온의 밀도, n [개/ m^3]의 증가에 의해 나타나게 된다.

$$I_D = n z_i e V_A \tag{1}$$

Table 2. I-P value due to electrical conductivity change

| Electrical conductivity | Applied Voltage, V_A [V] | | | |
|-------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| | 4 | 16 | 28 | 40 |
| 265 μ S | 0.093 A (0.4 W) | 0.597 A (9.6 W) | 1.222 A (34.2 W) | 1.910A (76.4 W) |
| 368 μ S | 0.135 A (0.5 W) | 0.954 A (15.3 W) | 2.010 A (56.3 W) | 3.299 A (131.9 W) |
| 493 μ S | 0.201 A (0.8 W) | 1.445 A (23.1 W) | 3.080 A (86.2 W) | 5.140 A (205.6 W) |
| 627 μ S | 0.220 A (0.9 W) | 1.828 A (29.2 W) | 3.820 A (106.9 W) | 7.010 A (280.4 W) |

여기서, $e = 1.602 \times 10^{-19}$ [C], z_i : 이온의 원자가이다. V_A 가 증가하면 실험수의 전기분해가 활성화되어 이온의 양이 증가하며, G_w 가 증가된다. 또한 G_w 는 첨가물의 양에 따라라도 변화한다. 따라서 전해이온수 생성 실험시 실험수의 전기전도도는 V_A 과 첨가물 양을 변수로 하는 함수로 얻을 수 있다.

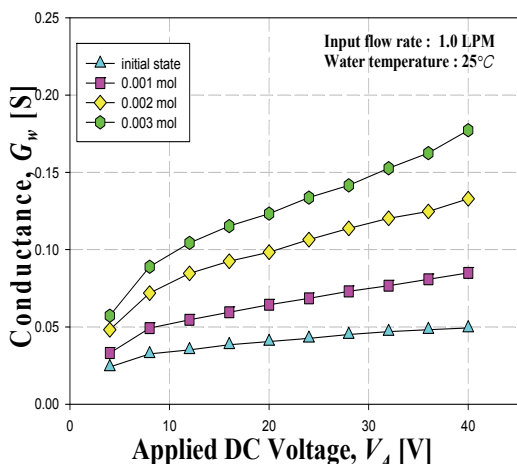


Fig. 3 Characteristics of the electrical conductance variation

그림 3은 인가전압과 NaCl mol 양에 대한 실

험수의 컨덕턴스(G_w) 변화를 나타낸 것이다. 본 실험의 경우, $V_A > 8$ [V]인 영역에서는 G_w 의 변화가 V_A 와 첨가물의 양에 대하여 각각 선형적으로 나타난다. 그러므로 전해이온수 생성 실험시 I_D 는 다음의 식 (2)과 같이 V_A 에 대한 2차 함수로 나타나게 되며, 첨가물은 계수를 결정하게 된다.

$$I_D(x, V_A) = G_w(x, V_A) \cdot V_A \quad (2)$$

$$\approx (Ax + B)V_A^2 + (Cx + D)V_A$$

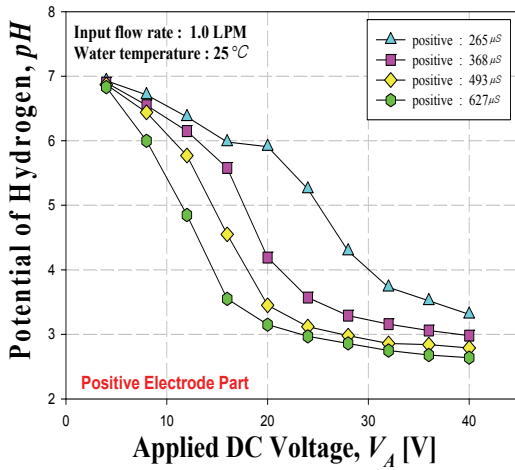
여기서, x 는 첨가물의 양(mol/l)이다. 본 실험에서 얻은 각 계수는 $A \approx 0.66$, $B \approx 4.52 \times 10^{-4}$, $C \approx 15.28$, $D \approx 2.98 \times 10^{-2}$ 이다.

그림 4는 전기전도도 변화에 따른 pH- V_A 특성이다. 그림 4 (a)의 정극성 전극부의 토출구에서 측정된 pH 값과 그림 4 (b)의 부극성 전극부의 토출구에서 측정된 pH 값은 전기전도도의 증가와 V_A 가 증가할수록 더 강한 산성수와 알칼리수의 성질을 각각 나타내었다.

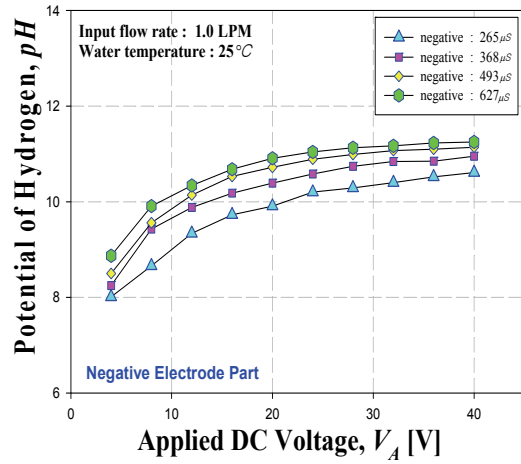
표 3은 $V_A = 4, 16, 20, 28, 40$ [V]에서 측정된 pH의 변화를 나타낸 것이다. 초기상태인 실험수의 경우와 $G_w = 627[\mu S]$ 인 경우의 인가전압별 pH 값의 차이를 비교하면, 산성수에서는 4 V에서는 0.1,

Table 3. pH value due to electrical conductivity change

| Polarity | Electrical conductivity | Applied Voltage, V_A [V] | | | | |
|---------------|-------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | 4 | 16 | 20 | 28 | 40 |
| Positive Zone | 265 μ S | 6.93 | 5.98 | 5.91 | 4.29 | 3.31 |
| | 368 μ S | 6.90 | 5.58 | 4.19 | 3.29 | 2.98 |
| | 493 μ S | 6.87 | 4.55 | 3.45 | 2.98 | 2.79 |
| | 627 μ S | 6.83 | 3.55 | 3.15 | 2.86 | 2.64 |
| Negative Zone | 265 μ S | 8.01 | 9.73 | 9.91 | 10.29 | 10.61 |
| | 368 μ S | 8.25 | 10.18 | 10.39 | 10.74 | 10.95 |
| | 493 μ S | 8.50 | 10.53 | 10.72 | 10.99 | 11.14 |
| | 627 μ S | 8.87 | 10.68 | 10.91 | 11.13 | 11.25 |



(a) Positive Electrode Part



(b) Negative Electrode Part

Fig. 4 pH- V_A Characteristics changes in electrical conductivity

16[V]에서는 2.43, 20[V]에서는 2.76, 28[V]에서는 1.43, 40[V]에서는 0.67 더 낮은 산성수를 얻을 수 있었으며, 알칼리수에서는 4[V]에서는 0.86, 16[V]에서는 0.95, 20[V]에서는 1.0, 28[V]에서는 0.84, 40[V]에서는 0.64 더 높은 알칼리수를 얻을 수 있었다.

정극성 전극부와 부극성 전극부 모두 $V_A=20[V]$ 까지 증가할 때, pH 변화가 급격히 나타난다. 그러나 전기전도도에 대한 영향은 각각 다르게 나타난다. 부극성 전극부에서 발생하는 알칼리수의 경우에는 첨가물의 양에 관계없이 V_A 의 증가와 함께 pH가 증가하여 pH11 정도에서 포화된다. $V_A=40[V]$ 일 때의 최대 포화 값은 전기전도도 값이 증가할수록 크게 나타난다. 그러나 정극성 전극부에서 생성되는 산성수는 전기전도도에 따라 pH가 크게 감소하는 영역이 다르게 나타나며, 첨가물의 양이 증가할수록 보다 낮은 V_A 에서 pH가 급격히 감소하기 시작한다. $V_A=40[V]$ 일 때의 최저 포화 값은 약 pH3 정도였으며, 첨가물의 양이 증가할수록 보다 낮은 전압에서 낮은 pH로 포화된다.

기준수에서 첨가물의 NaCl mol 양이 증가하면 물속의 이온이 많아지고, 물의 이온의 증가로 물의 G_w 가 증가한다. 이로 인하여 이온 전류가 상승하며 정극성 전극부에서는 수소이온이 증가하고 음이온이 모여들어 양극에 전자를 빼앗기는 산화반응이 더욱 활발히 일어나고, 부극성 전극부에서는 수소가스가 발생하여 용존 수소가 많아지는 환원반응이 촉진되어 각 전극부에서 더 강한 산성수와 알칼리수를 얻을 수 있었다.

그림 5는 Y_{pH} 와 V_A 에 따른 전력대비 pH 변동 효율 특성이다. 본 논문에서는 식 (3)에 의하여 산성수 및 알칼리수의 pH 변화를 소모전력으로 나눈 Y_{pH} 를 전력대비 pH 변동 효율로 정의한다.

$$Y_{pH} = \frac{|pH-7|}{P} [pH/W] \quad (3)$$

표 4는 $V_A=4, 16, 28, 40[V]$ 에서 얻은 전기전도도 변화에 의한 pH 변동 효율표를 나타내었다. 표 4에서 $V_A=4[V]$ 의 전압에서는 정극성 전극부의 산성수 생성에 비하여 부극성 전극부의 알칼리수 생성부분이 우수한 전력 효율을 보이지만, V_A 가

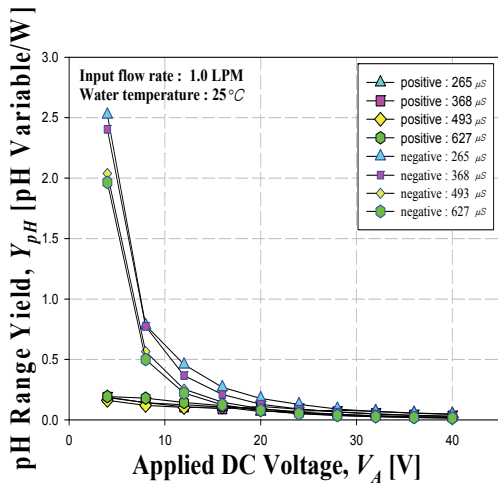


Fig. 5 pH fluctuation characteristics of the changing the electrical conductivity by applying voltage

증가할수록 그 차이는 점차 감소하여 $V_A \geq 20[V]$ 인 영역에서는 산성수와 알칼리수 생성 전력 효율은 차이가 나타나지 않는다.

Table 4. pH fluctuation yield characteristics due to electrical conductivity change

| Polarity | Electrical conductivity | Applied Voltage, V_A [V] | | | |
|---------------|-------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|
| | | 4 | 16 | 28 | 40 |
| Positive Zone | 265 μS | 0.188 | 0.107 | 0.079 | 0.048 |
| | 368 μS | 0.185 | 0.093 | 0.066 | 0.030 |
| | 493 μS | 0.162 | 0.106 | 0.047 | 0.020 |
| | 627 μS | 0.193 | 0.118 | 0.039 | 0.016 |
| Negative Zone | 265 μS | 2.525 | 0.270 | 0.090 | 0.044 |
| | 368 μS | 2.404 | 0.209 | 0.064 | 0.028 |
| | 493 μS | 2.038 | 0.146 | 0.043 | 0.019 |
| | 627 μS | 1.964 | 0.124 | 0.036 | 0.015 |

전해이온수 생성에서 전력 효율이 저하되는 원인으로서는 다층 구조의 전극 셀 사이의 누전과 피산화물의 산화 반응과 경쟁하여 전류 효율을 감소시키는 부반응 발생 등이 있다. 전기전도도를 달

리한 본 실험에서의 전기분해에서의 효율의 저하 원인은 명확히 찾지 못하여 향후 실험에서 규명하고자 한다.

3. 결론

본 연구에서는 전해이온수 발생장치에서 시험수의 전기전도도를 4 종류로 하여 각각의 경우, 인가전압에 따른 전해이온수의 pH 특성, 전류, 전력 효율 특성과 첨가물의 양에 대한 계수를 결정하는 실험을 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 전해이온수 생성시 반응장치의 전류-전압 특성은 일반적인 옴의 법칙에 따른 선형적 특성을 보이는 것이 아니라 인가전압에 대한 2차 함수의 형태를 보인다. 그리고 NaCl mol 의 증가에 의한 전기전도도의 증가에 따라 이러한 특성은 더 강하게 나타난다.
- 2) 부극성 전극부에서는 첨가물의 양과 관계없이 전압 인가 초기부터 pH가 급격히 증가하여 pH11 정도에서 포화되는 특성을 나타낸다. 그러나 정극성 전극부에서는 첨가물의 양에 따라 pH가 급변하는 부분이 다르게 나타나며 포화되는 영역과 형태에서도 차이를 나타낸다.
- 3) 산성수 생성에 비하여 알칼리수 생성은 인가전압이 낮은 경우에서 높은 전력 효율을 가지지만, 인가전압이 증가할수록 그 차이는 감소한다.

본 연구는 전해이온수 발생에서 전기전도도를 변수로 하였을 때 전압, 전류, 전력, pH 및 효율 변화 관계에 대한 연구이다. 향후 전극 구조의 변화와 유량 변동에 의한 영향 및 pH 변동 효율 특

성을 추가적으로 규명하면 전해이온수 발생에 가장 적합한 효율적인 반응장치를 개발할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] Y. J. Kwon, S. C. Lee, "Study about density (ph) change of on alkaline ion by PWM voltage control necessary for a living body." SC, Journal of the institute of electronics engineers of korea, vol.41, no.6 pp. 37-42, (2004).
- [2] D. Nelson, "Newer technologies for endoscope disinfection electrolyzed acid water and disposable-component endoscope system" Gastrointest Endosc Clin N Am, vol.10, no.2 pp. 319-328, (2000).
- [3] N. Noriaki, T. Noriko, F. Tatsuya, D. Toshiya, "The use of electrolyzed solutions for the cleaning and disinfecting of dialyzers." Artificial Organs. vol.24, no.12 pp. 921-928, (2000).
- [4] S. H. Park, I. S. Kim, "Disinfection of harmful organisms for sea water using electrolytic treatment system." Journal of navigation and port research vol.28 no.10 pp. 955-960, (2004).
- [5] O. Groterud, L. Smoczynski, "Phosphorus removal from water by means of electrolysis", Water Research, vol.20, no.5 pp. 667-669, (1986).
- [6] M. S. E. Abdo, Al-Ameeri, S. Rasheed, "Anodic oxidation of a direct dye in an electrochemical reactor", Journal of environmental science and health Part A, Environmental science and engineering, vol.A22, no.1 pp. 27-45, (1987).
- [7] H. Kokichi, S. Dongxu, L. Richard, K. Yoshinori, F. Gabriel, "The mechanism of the enhanced antioxidant effects against superoxide anion reduced water produced by electrolysis." BiopHysical Chemistry, vol.107, no.1 pp. 71-82, (2004).